

Магнитные свойства сплавов Fe-Ni-Al, подвергнутых интенсивной пластической деформации кручением под высоким давлением

¹**Богуш Михаил Юрьевич**

^{1,2,4}Ульянов Максим Николаевич, ^{1,2}Таскаев Сергей Валерьевич, ³Гундеров Дмитрий Валерьевич

¹Челябинский государственный университет

²Южно-Уральский государственный университет (НИУ)

³Институт физики молекул и кристаллов РАН

⁴Балтийский федеральный университет имени И. Канта

Таскаев Сергей Валерьевич

bmy74@yandex.ru

Китай является практически полным монополистом на рынке редкоземельных элементов. Растущий в последние годы внутренний спрос на редкоземельные элементы в Китае привел к ограничению их поставок на международный рынок, поэтому существует острая необходимость в разработке альтернативных безредкоземельных постоянных магнитов [1-5].

Предлагаемый проект направлен на объединение достижений теоретических и экспериментальных исследований, направленных на создание инновационных направлений для получения новых функциональных материалов, в частности, новых типов постоянных магнитов, не содержащих критических элементов (в том числе редкоземельных элементов). Высокоэффективные постоянные магниты стали незаменимыми материалами во многих отраслях промышленности, от хранения данных до небольших двигателей и устройств для экологически чистой энергии. Таким образом, снижение содержания критических элементов при производстве постоянных магнитов является адекватным ответом на кризис поставок редкоземельных металлов и их оксидов и позволит избежать монопольного доминирования Китая на рынке редкоземельных элементов.

Наряду с редкоземельными системами некоторые сплавы на основе железа являются одними из наиболее перспективных кандидатов для производства безредкоземельных постоянных магнитов.

В данной работе представлены результаты исследования магнитных свойств системы Fe-Ni-Al, подвергнутых интенсивной пластической деформации кручением под высоким давлением.

Авторы благодарят проект Российского научного фонда №19-72-00047 и российский академический проект 5-100 Балтийского федерального университета им. И. Канта.

Список публикаций:

[1] K. Kramer, *Phys. Today*, 63, 22-24 (2010).

[2] S Sugimoto, *J. Phys. D: Appl. Phys.* 44, 064001 (2011).

[3] R. Skomski, J.E. Shield, and D.J. Sellmyer, *Magnetics Technology International*, UKIP Media & Events, Ltd., p. 26-29 (2011).

[4] M.J. Kramer et al., *JOM*, 64, 752-763 (2012).

[5] B. Balamurugan et al., *Scripta Materialia*, 67, 542-547 (2012).

Магнитные свойства сплавов Fe-Ni-Ti, подвергнутых интенсивной пластической деформации кручением под высоким давлением

¹**Богуш Михаил Юрьевич**

^{1,2}Таскаев Сергей Валерьевич, ³Гундеров Дмитрий Валерьевич, ^{1,2,4}Ульянов Максим Николаевич

¹Челябинский государственный университет

²Южно-Уральский государственный университет (НИУ)

³Институт физики молекул и кристаллов РАН

⁴Балтийский федеральный университет имени И. Канта

bmy74@yandex.ru

Задача существенного увеличения кинетики образования фазы L1₀ в системе Fe-Ni была решена здесь путем применения интенсивной пластической деформации, применяемой к исследуемым материалам Fe-Ni двумя различными методами: (1) механическое измельчение при криогенных температурах (в дальнейшем именуемые криогенатором) и (2) холодной прокаткой, однако оба способа сопровождаются протоколами отжига после деформации. Эти два известных метода деформации могут создавать большие концентрации дефектов решетки, сопоставимые с найденными вблизи точек плавления материалов [1], что положительно влияет на диффузию атомов в различных металлических системах, включая алюминий и сталь [2]. Кроме того, измельчение при криогенных температурах позволяет избежать процессов термического восстановления и

рекристаллизации в сильно деформированных структурах. Улучшение низкой термодинамической движущей силы для образования фазы $L1_0$ в системе Fe-Ni, которая считалась предельным ограничивающим фактором для достижения фазы $L1_0$ [3], было достигнуто здесь за счет небольших добавок легирующих элементов. Эти модификации сплава были выбраны, в частности, на основании имеющихся экспериментальных и теоретических данных [4].

В дополнение к экспериментальной работе, были проведены первопринципные расчеты с использованием функциональной теории электронной плотности процессов фазового образования в системе Fe-Ni. Например, результаты моделирования спиновой структуры, намагниченности насыщения и др. для сплава с составом $Fe_{2-x-y}Ni_xM_y$ ($M = Al, P, S, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co$) приведены в [5]. Допирование различных элементов позволяет стабилизировать структуру, увеличить количество фазы $L1_0$ в исходной матрице сплава Fe-Ni, улучшить магнитные свойства. Некоторые из этих элементов включены в расчеты чисто из научного любопытства, но большинство из них взяты из экспериментальных работ на эту тему. Например, в [6] было высказано предположение, что сера положительно влияет на образование фазы $L1_0$. Добавление фосфора для расчета возможных свойств тетраэдрита было обусловлено тем, что метеориты могут содержать незначительные количества фазы $(Fe, Ni)_3P$, которые, в свою очередь, могут влиять на формирование фазы $L1_0$.

Целью данной работы является изучение магнитных свойств и микроструктуры сплава Fe-Ni, легированного 3d-металлами, после интенсивной пластической деформации кручением под высоким давлением (НРТ).

Авторы благодарят проект Российского научного фонда № 19-72-00047 и российский академический проект 5-100 Балтийского федерального университета им. И. Канта.

Список публикаций:

- [1] B. Zhang, L. Lu, M. Lai, *Phys. B Condens. Matter.*, 325, 120-129 (2003).
- [2] K. Detemple, O. Kanert, J. De Hosson, K. Murty, *Phys. Rev. B*, 52, 125-133 (1995).
- [3] J. Liu, K. Barmak, *Journal of Vacuum Science & Technology A Vacuum Surfaces and Films*, 33, 021510 (2015).
- [4] H.L. Skriver, *Databases CAMP* (2004).
- [5] P. Manchanda, R. Skomski, N. Bordeaux, L.H. Lewis, A. Kashyap, *Journal of Applied Physics*, 115, 17A710 (2014).
- [6] L. Ma, D.B. Williams, J.I. Goldstein, *J. Phase Equilib.*, 19, 299 (1998).

Магнитные и магнитооптические свойства трехслойных пленок DyCo/Bi/NiFe

Волченко Елизавета Николаевна

Косырев Николай Николаевич

Сибирский федеральный университет

Патрин Геннадий Семенович

envolchenko@yandex.ru

В настоящее время сплавы редкоземельного / переходного металлов являются объектом активных исследований. Интерес к данному типу сплавов обусловлен, прежде всего, возможностью их практического применения при создании носителей информации с высокой плотностью записи, новых типов магниторезистивной памяти и высокочувствительных сенсоров магнитного поля, для которых характерны надежность и малое потребление энергии [1]. Кроме того, структуры, содержащие полуметаллическую прослойку Bi, на сегодняшний день слабо изучены. В связи с этим, исследования свойств трехслойных пленок DyCo/Bi/NiFe являются актуальными.

Трехслойные пленки DyCo/Bi/NiFe были получены методом термического осаждения в вакууме. В качестве подложки было использовано покровное стекло. Толщина слоя Bi варьировалась от 0 до 4 нм.

В данной работе с использованием магнитооптического эффекта Керра были исследованы температурные зависимости намагниченности для различных толщин прослойки Bi. Было показано, что поведение намагниченности зависит от толщины слоя висмута в пленках. При комнатной температуре (около 300 K) для образцов с толщиной слоя висмута $d(Bi) = 0$ нм и 4 нм петли гистерезиса имеют прямоугольную форму, а для образца с $d(Bi) = 3$ нм петля гистерезиса имеет двухступенчатую форму (*рис. 1*). Согласно работе [2], двухступенчатые петли гистерезиса наблюдаются при неоднородном перемагничивании магнитомягкого и магнитожесткого слоев, а прямоугольные – при наличии параллельных компонент намагниченности в магнитных слоях. Полученные данные можно объяснить существованием обменного взаимодействия между магнитными слоями.